

**КОМБИНИРОВАННЫЕ СХЕМЫ ВТОРИЧНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КАПЕЛЬ
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТОПЛИВ**

Р.М. Федоренко, Д.В. Антонов, Н.Е. Шлегель

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. П.А. Стрижак

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: vfedrm@gmail.com

COMBINED SCHEMES OF SECONDARY ATOMIZATION OF MULTI-COMPONENT FUEL DROPLETS

R.M. Fedorenko, D.V. Antonov, N.E. Shlegel

Scientific Supervisor: Prof., Dr. P.A. Strizhak

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin av., 30, 634050

E-mail: vfedrm@gmail.com

***Abstract.** In this paper, we describe the results of experimental research into secondary droplet atomization for multi-component fuel droplets. The group of schemes is studied. Comparative analysis of the effectiveness of different secondary atomization schemes relative to the consumed energy is conducted. Recommendations on the combined use of several secondary atomization schemes are given.*

Введение. В большинстве технологий распыление капель жидких топлив направлено на увеличение площади поверхности теплообмена и химического реагирования. Особенно важно увеличить данный параметр для технологий испарения или сжигания примесей, а также в системах пожаротушения и тепломассообменных установках. Однако, как показывают эксперименты [1] впрыск мелкодисперсных потоков жидкости непосредственно в камеру сгорания может негативно влиять на эффективность технологического процесса. Одним из путей решения проблемы повышения эффективности испарения жидкостей в капельном состоянии может являться так называемое вторичное измельчение капель непосредственно в зоне теплообмена [1]. В настоящий момент можно выделить несколько схем вторичного измельчения капель жидкостей: столкновения капель с твердой поверхностью [2], столкновения капель между собой при движении в газовой среде [3], измельчение капель с неоднородным составом за счет микро-взрывной фрагментации [4], дробление капель потоком воздуха [5]. Комбинирование различных подходов вторичного измельчения может значительно повысить эффективность многих существующих газопарокапельных технологий.

Целью настоящей работы является сравнение характеристик вторичного измельчения капель многокомпонентных топлив за счет применения четырех наиболее распространенных схем вторичного измельчения, а также разработка рекомендаций для их комбинированного применения.

Экспериментальная часть. В ходе проведения экспериментов использовалось несколько экспериментальных стендов. Во всех экспериментах исследовались одиночные капли. Для изучения процессов столкновения капель между собой использовался стенд, снабженный системой подачи жидкости и генерации капель, данная система позволяла варьировать скорости движения капель, их размеры, а также угол атаки. Экспериментальная методика аналогична использованной в опытах [3]. При

изучении столкновений капель с твердой поверхностью использовался стенд, позволяющий варьировать углы падения капель на твердую поверхность за счет изменения ее положения на держателе (от 0° до 90°). Держатель позволял крепить к нему подложки с различными характеристиками (шероховатость, теплофизические характеристики, гидрофильность и гидрофобность, температура и др.). Методика регистрации параметров аналогична использованной в опытах [2]. Для изучения процессов микровзрыва капель жидкости при высокотемпературном прогреве использовалась вертикально расположенная трубчатая муфельная печь (диапазон температур 20–1200 $^\circ\text{C}$), в которую сбрасывалась капля. Капли генерировались специальными дозаторами (размеры капель составляли от 0.62 до 1.34 мм). Методика аналогична использованной в опытах [4]. При изучении процессов дробления капель воздушной струей использовался стенд, позволяющий генерировать капли заданного объема, а также варьировать скорость воздушного потока. Методика регистрации параметров аналогична использованной в опытах [5].

Результаты. На рис. 1 приведено изменение отношений площади поверхности образующихся фрагментов жидкости к исходной при измельчении капель с ростом затраченной энергии.

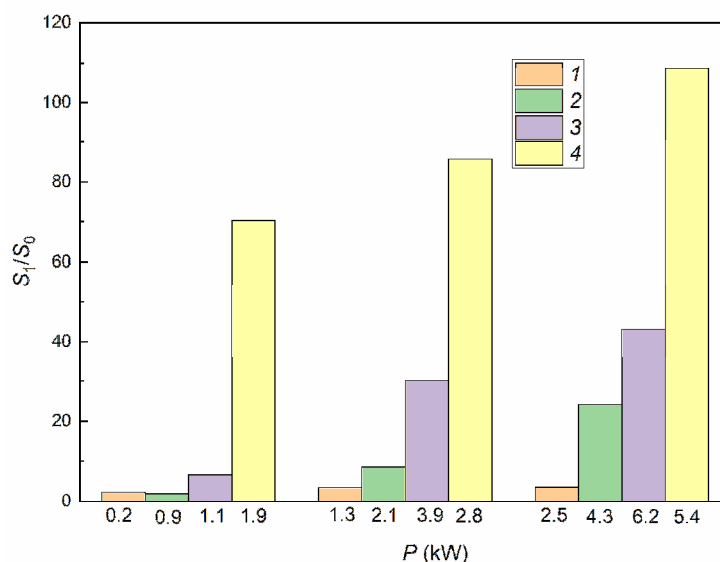


Рис. 1. Изменение отношения площади поверхности образующихся фрагментов жидкости к исходной при измельчении капель с ростом затраченной энергии: 1 – взаимодействие между собой; 2 – соударение со стенкой; 3 – воздействие на каплю воздушный поток; 4 – микро-взрывное измельчение при нагреве

Для расчета израсходованного количества энергии на измельчение капель при разных схемах принималась энергия, необходимая для поддержания работоспособности соответствующих установок (нагревательных камер, компрессорного оборудования и др.) в течение часа. Рассчитанные отношения площадей характеризуют усредненное значение результатов при использовании установки в течение времени работы.

Из рис. 1 хорошо видно, что система с вторичным измельчением за счет интенсивного перегрева капель требует наибольшего количества энергии, как и следовало ожидать. Однако, важно учесть несколько моментов. Во-первых, результаты расчета на рис. 1 приведены без учета фактора количества одновременно измельчаемых капель. Очевидно, что в случае механических схем, т.е. соударений капель между собой, со стенкой или потоком воздуха важное значение будет иметь их концентрация в аэрозоле.

В случае высокотемпературного нагрева капель они интенсивно диспергируют и измельчаются без существенного влияния соседних капель [4]. Поэтому с учетом количества единовременно измельчаемых капель схема микро-взрывного распада будет не такой затратной, как в случае одной капли. Во-вторых, при сравнении контактных схем измельчения капель можно отметить достаточно близкое необходимое количество энергии. С точки зрения конструктивных особенностей, схемы с взаимодействием капель между собой, а также со стенкой (в том числе нагретой) можно считать более простыми. Поэтому их применение выглядит рациональным по сравнению со схемой воздействия на капли потока воздуха. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что с использованием рис. 1 можно прогнозировать значения S_1/S_0 при варьировании скоростей движения и размеров капель, температур нагрева в широких диапазонах для четырех исследованных схем вторичного измельчения.

Заключение. Проведенные эксперименты позволили определить интегральные характеристики изменения суммарной площади поверхности капель после дробления. Сравнительный анализ показал, что по этим параметрам в несколько раз имеет преимущества схема с организацией микро-взрывного измельчения нагреваемых капель, при этом площадь поверхности испарения увеличивается в 60–100 раз. Наиболее перспективным представляется развитие данной работы в направлении организации комбинированных подходов вторичного измельчения капель жидкостей за счет последовательного использования двух или трех рассмотренных схем, основанных на разных механизмах и физических принципах разрушения капли. Для неоднородных по составу капель основной интерес представляет на первом этапе измельчение за счет соударения между собой или со стенкой, а затем нагрев образующихся жидкостных фрагментов до состояния вскипания и последующего микро-взрывного разрушения. При такой комбинации можно обеспечить рост отношения S_1/S_0 более чем в 100 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vysokomornaya O. V., Piskunov M. V., Strizhak P. A. Breakup of heterogeneous water drop immersed in high-temperature air // *Applied Thermal Engineering*. – 2017. – V. 127. – P. 1340-1345.
2. Negeed E. S. R. et al. Experimental study on the effect of surface conditions on evaporation of sprayed liquid droplet // *International Journal of Thermal Sciences*. – 2010. – V. 49., №. 12. – P. 2250-2271.
3. Solomatin Y., Shlegel N. E., Strizhak P. A. Atomization of promising multicomponent fuel droplets by their collisions // *Fuel*. – 2019. – V. 255. – №. 115751.
4. Antonov D. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Comparison of the characteristics of micro-explosion and ignition of two-fluid water-based droplets, emulsions and suspensions, moving in the high-temperature oxidizer medium // *Acta Astronautica*. – 2019. – V. 160. – P. 258-269.
5. Ithnin A. M. et al. An overview of utilizing water-in-diesel emulsion fuel in diesel engine and its potential research study // *Journal of the Energy Institute*. – 2014. – V. 87., №. 4. – P. 273-288.